

## **RADYO FREKANS TANIMLAMA SİSTEMİNE DAYALI HAMMADDE DEPO YÖNETİMİ**

**Özgür ESKİ<sup>1\*</sup>, Ceyhun ARAZ<sup>1</sup>, Tayfun DELEN<sup>2</sup>, Levent BAYOĞLU<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 45140 Manisa, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Norm Cıvata Sanayi ve Tic.A.Ş. İzmir, TÜRKİYE

<sup>3</sup>Coresys Endüstri Yazılımları Danışmanlık Hizmetleri San. Tic. Ltd. Şti. İzmir, TÜRKİYE

**Özet:** Demir-çelik sanayinde faaliyet gösteren firmalarda, sarım şeklindeki metal hammaddelerin etkin şekilde depolanması önemli bir konudur. Geleneksel depolama sistemlerinde depolama işlemleri büyük oranda operatörlerin tecrübesine dayalı olarak gerçekleşmektedir. Bu durum, depo bölgesinin etkin şekilde kullanılmamasına ve hammaddelerin sistem içerisindeki miktar ve konum bilgilerinin doğru şekilde izlenememesine neden olmaktadır. Bu çalışmada, depolama ve malzeme izleme faaliyetlerinin etkin şekilde gerçekleştirilmesini sağlayacak, radyo frekans tanımlama yöntemi tabanlı bir hammadde depo yönetim sistemi geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında, sarım şeklindeki metal hammaddelerin depo bölgesine etkin yerleşimini sağlayacak özgün bir yerleşim algoritması da tasarlanmıştır. Oluşturulan depo yönetim sistemi, bağlantı elemanları üreten Norm Cıvata A.Ş. firmasında uygulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** *Depo yönetimi, RFID, malzeme izlenebilirliği, yerleştirme algoritmaları*

## **RFID BASED RAW MATERIAL WAREHOUSE MANAGEMENT**

**Abstract:** The efficient storage and tracking of steel coils are important issues in steel industry. In traditional warehouse systems, steel coils are randomly placed on the floor and the performance of the storage operations depends on operator's experience. This results in inefficient use of warehouse and mistakes on inventory records. In this study, we proposed an RFID based real-time warehouse management system that helps the warehouse managers to achieve better inventory control and improve the efficiency of warehouse operations. We also developed a heuristic for efficient placement of steel coils. A case study is conducted in Norm Fasteners Co. , Turkey.

**Keywords:** *Warehouse management, RFID, material traceability, location algorithms*

---

\*Özgür ESKİ  
ozgur.eski@cbu.edu.tr

## 1.GİRİŞ

Günümüzde malzeme depolama, malzeme transferi gibi aktiviteler ürüne değer katmayan faaliyetler olarak değerlendirilseler de pek çok sektörde üretim birimlerinin vazgeçilmez unsurları olarak görülmektedirler. Özellikle demir-çelik sanayi gibi büyük hacimde üretimin söz konusu olduğu, büyük oranda yurtdışı tedarikçilere bağımlı olarak çalışan sektörlerde; hammadde fiyatlarındaki değişkenlikler, temin süresinin uzunluğu, hammadde ihtiyacının düzensizliği gibi etkenlerden dolayı büyük miktarda hammadde stoklanmakta ve tesis içerisinde aynı oranda hammadde ve yarı mamul akışı gerçekleşmektedir. Bu tür sektörlerde faaliyet gösteren firmalar açısından, stokların etkin şekilde yerleşimi ve yönetilmesi, malzemelerin tesis içindeki hareketlerinin düzenlenmesi, malzemelerin gerçek zamanlı olarak izlenebilmesi ve kaynakların verimli kullanımı, büyük önem taşımaktadır. Bu etkinliğin sağlanmasında firmalar genellikle endüstri mühendisliği uygulamalarının (sistem analizi, İş ve metot etüdü çalışmaları vb) yanı sıra teknolojiyenin de yararlanma yoluna gitmektedirler. Özellikle bilgisayar teknolojisinde yaşanan hızlı gelişme paralelinde donanım maliyetlerinin katlanılabilir seviyelere inmesiyle otomasyon teknolojileri, depo yönetimi aktivitelerinde etkinliğin sağlanması açısından başvurulan bir kaynak haline gelmiştir. Otomasyon teknolojileri sayesinde malzeme depolama, malzeme taşıma, malzeme tanımlama ve izleme gibi aktiviteleri daha az işgücü ile etkin ve doğru şekilde gerçekleştirmek mümkün hale gelmiştir.

Depo yönetimi aktivitelerinin temelinde yer alan ve başarısını direkt olarak etkileyen faaliyetlerin başında malzeme tanımlama ve izleme gelmektedir. Otomasyona dayalı depo yönetim sisteminde malzemelerin tanımlanması ve depo sistemi içindeki

hareketlerinin izlenmesi, planlama ve çizelgeleme aktivitelerinin etkinliği açısından da önem taşımaktadır. Geleneksel sistemlerde yoğun şekilde insana dayalı olarak gerçekleşen bu aktiviteler hem maliyet unsuru oluşturmakta hem de hata oranının yüksekliği nedeniyle planlama, çizelgeleme ve kontrol aktivitelerini aksatmaktadır. Malzeme tanımlama ve izleme operasyonları açısından yaygın şekilde kullanılan iki otomasyon teknolojisi Barkod ve Radyo Frekans Tanımlama (RFID) yöntemleridir [1]. Barkod teknolojisi ucuz olması nedeniyle yaygın şekilde kullanım alanı bulmakla birlikte, veri okuma için yine insana dayalı olması, etiketlerin ucuz olmasına rağmen tek seferlik kullanımı, gerçek zamanlı veri toplamaya imkan vermemesi gibi dezavantajlara sahiptir [2]. RFID teknolojisi ise radyo frekans etiketlerinin birden fazla kez kullanımına izin vermesi, okuyucu ile etiketin birbirine temas etmesine gerek olmaması, etiketlere hem okuma hem yazma işleminin uzaktan gerçekleşmesine imkan vermesi, veri yakalama için insana ihtiyaç duymaması, gerçek zamanlı veri yakalamaya olanak sağlaması gibi avantajlarıyla son dönemde pek çok sektörde malzeme tanımlama ve izleme amacıyla kullanılmaktadır [3]. Bu konudaki uygulamalar son dönemde akademik çalışmalarda da yer bulmaktadır. Otomotiv [4], gıda [5], elektronik [6], [7], demir çelik sanayi [8], [9], lojistik [10], tekstil [11], sağlık [12], [13] gibi alanlardaki örnek uygulama çalışmaları göze çarpmaktadır. Uygulama çalışmaları ile ilgili güncel kaynak taramaları [3], [14]'te bulunabilir.

Diğer sektörlerle karşılaştırıldığında demir çelik endüstrisinde faaliyet gösteren firmalarda malzeme izleme, tanımlama aktiviteleri için RFID uygulamalarının daha sınırlı olduğu göze çarpmaktadır. Bunda hem bu endüstrideki stok miktarlarının yüksek oluşunun gereken etiket sayısını ve dolayısıyla sistem işletim maliyetlerini

artırmasının, hem de metal yoğun ortamlarda RFID okuma oranlarının düşük olmasının etkisi olduğu düşünülmektedir.

Ülkemizde Demir Çelik Endüstrisinde depolama aktiviteleri genellikle insana bağımlı olarak gerçekleşmekte, otomasyon tekno-lojilerinin kullanımı sınırlı düzeyde kalmaktadır. Bu çalışma kapsamında, bağlantı elemanları (civata, somun, burç, pim vb) üreten Norm Civata A.Ş firmasında, RFID teknolojisine dayalı bir depo yönetim bilgi sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan sistem, hammaddelerin miktar ve konum bilgilerinin gerçek zamanlı olarak izlenmesine imkan vermektedir. Aynı zamanda çalışma kapsamında geliştirilen ve sarım şeklindeki metal hammaddelerin yerleştirilmesine yönelik yerleştirme algoritması ile hammaddelerin depo bölgesine FIFO kuralına uygun olarak, depo alanını etkin kullanacak şekilde yerleştirilmesi sağlanmıştır

## **2.RFID TABANLI HAMMADDE DEPO YÖNETİM SİSTEMİNİN TASARIMINI GEREKLİ KILAN ETKENLER VE ÇALIŞMANIN AMAÇLARI**

Norm Civata Firması, bağlantı elemanları üreten ve İzmir /Türkiye’de faaliyet gösteren, sektöründe önde gelen bir firmadır. Civata üretimi, değişik alışimlardaki metal hammaddelerin yüzey işlem, soğuk şekillendirme, ısıtma işlem, kaplama, paketleme gibi bir dizi üretim sürecinden geçmesiyle gerçekleşmektedir. Metal hammaddeler büyük oranda yurtdışı tedarikçilerden temin edilmekte, temin süresi 1 ayı geçtiği için tesis içinde hammadde ve yarımamul stokları bulundurulmaktadır. Hammaddeler tedarikçilerden sarım (kangal) şeklinde gelmekte ve tesiste büyük bir kısmı açık alanda bir kısmı da kapalı alanda bulunan hammadde depolama bölgelerinde, piramit şeklinde üst üste yığılmak suretiyle depolanmaktadır

(Şekil 1). Firmada RFID tabanlı bir hammadde depo yönetim sisteminin tasarlanmasını zorunlu kılan etkenleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

**İlk Giren İlk Çıkar (FIFO) kuralına uygun depo yerleşiminin ve malzeme çekmenin tam olarak gerçekleştirilememesi:** Sarım şeklinde açık alanlarda depolanan metal hammaddelerin FIFO yöntemine uygun şekilde kullanılması önemlidir. Norm Civata A.Ş. firmasında proje öncesi durumda depolama ve malzeme çekme işlemleri büyük oranda forklift operatörlerinin tecrübesine dayalı olarak gerçekleşmekteydi.

Depo alanında hangi malzemenin nereye depolandığını gösteren bir sistem mevcut olmadığından yerleştirme işlemleri büyük oranda forklift operatörlerinin deneyimlerine dayalı olarak gerçekleşiyordu. Bu durum, malzemelerin FIFO kuralına uygun olarak



**Şekil 1.** Sarım şeklindeki metal hammaddelerin açık alanda depolanması

tüketilmesine imkan vermemektedir. Gelişigüzel yapılan yerleştirmeler nedeniyle daha eski tarihte geldiği halde bazı hammaddelerin erişilemeyecek şekilde yerleştirme bölgelerinin arka kısımlarında kalmasına, dolayısıyla kullanılmadan aylarca stok alanında beklemesine ve dış ortam şartlarının da etkisi ile malzeme kalitesinde düşüşe sebep olmaktadır. Kullanılmadan uzun süre depo alanında kalan özellikli bir malzeme kalite düzeyi düşük standart bir üründe kullanılmak zorunda kalabildiği gibi bazen de tamamen hurdaya çıkabilmektedir. Bu tür hammaddeler üretimde kullanılsa bile

ilave bazı operasyonlara ihtiyaç duymaktadır. Tüm bu durumlar ilave maliyetlere katlanılmasına, iş istasyonlarında yeniden işleme faaliyetleri nedeniyle verimlilik düşüşlerine ve en önemlisi nihai ürünlerde kalite problemleri yaşanmasına ve müşteri memnuniyetinin sağlanamamasına sebep olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı firma, FIFO'ya uygun malzeme kullanımına imkan verecek bir hammadde yönetim sistemine (HYS) ihtiyaç duymaktaydı.

• **Ürün izlenebilirliğinin sağlanamamasından kaynaklanan verimsizlikler:** Fabrika içi birimler arasında malzeme akışı genel olarak firmanın kullandığı Kurumsal Kaynak Planlama (KKP, Enterprise Resource Planning – ERP) sistemi üzerinden takip edilmekle birlikte, hammadde deposunda bekleyen hammaddelerin gerçek zamanlı yer ve miktar bilgisi tutulmamaktadır. Bu durum, üretim çizelgelemesinin etkin şekilde yapılmasını ve hammadde deposu ile üretim birimleri arasında koordinasyonun sağlanmasını engellerken, makinelerin malzeme eksikliği nedeniyle boş kalmalarına sebep olmaktadır. KKP sistemi üzerinde tutulan stok konum ve miktar bilgileri de, verilerin operatörler tarafından elle girilmesi, zamanında giriş yapılmaması, hatalı girişler vb. nedenlerle çoğu zaman gerçek durumla uyuşmamaktadır. Bu nedenlerle firma gerçek zamanlı ürün izlenebilirliğine imkan veren, veri yakalama konusunda insana bağımlılığı ve hataları azaltan bir bilgi sistemine ihtiyaç duymaktaydı.

Tasarlanan RFID tabanlı hammadde depo yönetim ve ürün izlenebilirliği projesinin amaçlarını aşağıdaki gibi özetleyebiliriz:

- 1) FIFO hammadde tüketimini etkin kılarak ürün kalitesini iyileştirmek,
- 2) FIFO hammadde tüketimini etkin kılarak müşteri isteklerini sağlamak ve müşteri memnuniyetini artırmak,
- 3) Malzeme izlenebilirliğinin etkin kılınması ile malzeme kontrol, malzeme

takip ve aktarma işlemlerinin verimliliğini arttırmak,

- 4) Gerçek zamanlı yer ve miktar bilgilerini kullanarak yapılan bütünleşik çizelgeleme sayesinde üretim birimlerinin verimliliğinin artırılması ve firma teslim performansının iyileştirilmesi,
- 5) Kalitesizlik, verimsiz çalışma ve işgücü maliyetlerini azaltmak,
- 6) Tüm kazanımlar sonucunda firma güvenilirliğini arttırmak.

### 3. RFID TABANLI HAMMADDE YÖNETİM SİSTEMİ

HYS'nin tasarlanmasından önce, mevcut durum analizi yapılarak mevcut hammadde depo yönetim sisteminin iş akışları çıkarılmış, kayıp yaratan aktiviteler belirlenmiş, yöntem üzerinde iyileştirme yapılacak noktalar ortaya çıkarılmıştır. Sonrasında yeni kurulacak depo yönetim sisteminin özellikleri ortaya konmuş, teknolojik yapılabirlik etüdü gerçekleştirilmiştir.

Türkiye ve dünyada faaliyet gösteren firmaların konuyla ilgili olarak ortaya koydukları çözümler ayrıntılı şekilde incelenmiştir. Sarım şeklinde yerleştirilen hammaddelerle ilgili olan çalışmalarda genellikle dikey yerleştirme yöntemi tercih edilmiş ve piramit tarzı yerleştirme ile gerçekleştirilen bir çalışmaya rastlanılamamıştır [15]. Metal sektöründe ve diğer sektörlerde yapılan depo yerleştirme sistemleri ile ilgili çalışmalarda ise kullanılan araçların çizelgelenmesi, toplama ve dağıtım planlarına uygun olarak yerleştirme planlarının oluşturulması genellikle 3 boyutlu raf düzeni esas alınarak yapılmıştır [16], [17]. Yapılan incelemeler sonucunda sarım şeklindeki metal malzemelerin depolanmasına ilişkin olarak Norm Cıvata A.Ş örneği ile bire bir örtüşen bir uygulama olmadığı görülmüştür. Literatür üzerinde

yapılan incelemelerde de sarım şeklindeki malzemelerin depolanmasına özgü hazır depolama algoritmaları olmadığı görülmüştür. Bu nedenle ortaya konan sistem ve algoritmalar, sarım şeklindeki malzemelerin depolanmasına yönelik özgün tasarımlardır.

HYS, sarım şeklindeki metal hammaddelerin hammadde depo bölgesine etkin ve doğru şekilde yerleştirilmesi, ilgili stok transfer hareketlerinin doğru şekilde işletme KKP sistemine aktarılması, yerleştirme ve çekme işlemini gerçekleştiren forklift operatörlerinin forkliftler üzerine yerleştirilecek forklift terminalleri üzerinden yönlendirilmesi aktivitelerini gerçekleştiren bir bilgi sistemi olarak tasarlanmıştır. Önceden sadece forklift operatörünün deneyimlerine bağımlı şekilde gerçekleşen aktiviteler artık HYS sayesinde FIFO tüketimine uygun, depo alanını etkin kullanacak ve bilgi sistemine gerçek zamanlı bilgi aktaracak duruma gelmiştir. Bunun yanı sıra çekme ve yükleme emirleri forklift üzerindeki ekranlara aktarılarak operatörün, yapacağı işlem konusunda yönlendirilmesi, böylece sistem insan deneyimi üzerindeki bağımlılıktan kurtulmuştur. HYS ile malzemelerin FIFO kuralına uygun tüketimi garanti edilmiş, FIFO uygulanmamasından kaynaklanan kalite problemlerinin önüne geçilmiştir.

HYS iki alt sistemden oluşmaktadır:

- 1) Hammadde yerleştirme modülü: Tedarikçilerden gelen, sarım şeklindeki metal hammaddelerin hammadde depo bölgesine etkin şekilde ve FIFO tüketimine imkan verecek şekilde yerleştirilmesine ilişkin bir karar destek sistemidir.
- 2) Hammadde çekme modülü: Üretim biriminden istenen hammaddelerin depo bölgesinden doğru şekilde, doğru zamanda ve doğru miktarda üretim birimine aktarılma sürecine ilişkin bir karar destek sistemidir.

HYS'nin tasarımına ilişkin çalışmaları aşağıdaki gibi gruplandırmak mümkündür.

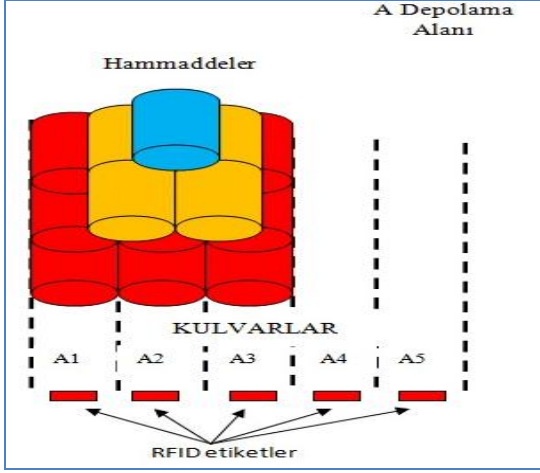
- 1) Depo yerleşim planı ile ilgili çalışmalar.
- 2) Yerleşim algoritmalarının tasarlanması
- 3) Tanımlama ve izleme teknolojilerinin seçimine ilişkin çalışmalar.
- 4) HYS ile şirketin bilgi sisteminin bütünleştirilmesine yönelik çalışmalar
- 5) Fiziksel olarak sistemin kurulumu ve test edilmesi.

### **3.1 Depo Yerleşimi ile İlgili Çalışmalar**

Sarım şeklindeki metal hammaddelerin depolama bölgelerine hem FIFO kuralına uygun tüketimi sağlayacak hem de depo alanını etkin bir biçimde kullanacak şekilde yerleştirilmesi açısından değişik depo yerleşim alternatifleri değerlendirilmiş ve malzemelerin depolama alanına kulvarlar şeklinde yerleştirilmesine karar verilmiştir. (Şekil 2). Burada kulvar genişliği metal sarımların genişliği kadar tutulmuştur (2 metre). İş güvenliği nedeniyle en fazla 3 sıra sarım üst üste konabilmektedir. Depolama alanı homojen olmadığı için kulvar derinlikleri yerleştirme alanlarına göre değişkenlik göstermektedir. Kulvar sistemindeki temel kural, herhangi bir kulvara sadece aynı tarihte üretilmiş, aynı tarihli satış siparişi ile gelen, aynı tip hammaddelerin yerleştirilmesidir. Farklı zamanlarda gelen aynı cins malzemeler dahi aynı kulvara yerleştirilemez. Bu kuralın uygulanması ile malzemenin FIFO'ya uygun şekilde çekilmesine olanak veren bir yerleşim garanti edilmiştir. Tüm depolama alanları, Şekil 2'deki örnekte gösterildiği gibi kulvarlara ayrılmış ve bu kulvarlar firmanın KKP sistemi üzerinde tanımlanmıştır.

Böylece, yerleştirilecek malzemelerin lokasyon bilgileri, KKP sistemi üzerinden takip edilebilecektir. Şekil 2'deki örnek değerlendirilecek olursa, A depolama bölgesi A1, A2,...,A5 olmak üzere 5 kulvardan oluşmaktadır. Bu örnek yerleşimde 14 adet sarım A1-A3 kulvarları arasına yerleşmiştir.

KKP sistemi üzerinde hammaddenin stok yeri A1-A3 kulvarları arası olarak gözükecektir. Tüketimle birlikte A3 kulvarının boş kaldığı



Şekil 2. Depo alanlarının kulvarlar şeklinde kullanılması

anda sistemdeki A3 kulvarı serbest bırakılarak başka hammaddelerin yüklenmesine uygun hale gelecektir. Kulvarların bu şekilde dinamik kullanımıyla, stok sahasının etkinliği artırılmıştır. Bu konuyla ilgili detay çalışmalar bir sonraki kısımda anlatılacaktır.

Bu sistemde malzemelerin anlık olarak konum ve miktar bilgilerinin doğru şekilde takip edilmesi RFID teknolojisi sayesinde gerçekleşmektedir. Her kulvar girişine, zemine RFID etiketler gömülerek kulvar bilgileri RFID etiket üzerine yazılmıştır. Sistemin işleyişi detaylı olarak 3.5 te anlatılacaktır.

### 3.2 Yerleşim Algoritmalarının Tasarımı

Depo alanının kulvarlara ayrılması ile FIFO'ya uygun bir yerleşim şekli oluşturulmuştur. Ancak sevkiyatla gelen hammaddelerin hangi bölgeye ve kulvara yerleştirileceği kararının sadece operatörün inisiyatifine bırakılması, hem depo alanının verimsiz kullanımına hem de malzemelerin FIFO tüketimine olanak vermeyecek şekilde, gelişigüzel yerleştirilmesine neden

olmaktadır. Bunu ortadan kaldırmak üzere, sarım şeklindeki malzemelerin etkin şekilde yerleştirilmesini sağlayan özgün bir yerleşim algoritması geliştirilmiştir.

Sevkiyatla gelecek malzeme tipleri ve miktarları önceden bilindiği için, yerleşim algoritmaları sevkiyatın ulaşmasından önce çalıştırılarak, gelecek olan hammaddelerin hangi lokasyona yerleştirilecekleri belirlenerek operatörlere iş emri olarak aktarılabilir ve yerleştirme işlemleri operatörün inisiyatifine bırakılmayacaktır.

Mevcut literatür incelendiğinde sarım şeklindeki malzemelerin piramit şeklinde üst üste konması ile yerleştirilmesine ilişkin bir çalışma olmadığı görülmektedir. Bu özel bir problem olmakla birlikte metal sanayinde sarım şeklinde metal hammadde kullanan firmalarda sıklıkla ortaya çıkan bir problemdir. Bu çalışma kapsamında bu özel yerleştirme problemine ilişkin bir algoritma geliştirilerek etkinliği simülasyon çalışmaları ile test edilmiştir. Algoritma temelde bir depolama alanının kullanım oranını yükseltecek şekilde yerleştirme yapılmasını amaçlamaktadır. Depolama alanı kullanım oranı aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$KO = \frac{SS}{MS} \quad (1)$$

KO:Kullanım oranı.

SS:depolama alanına fiili olarak yerleştirilen sarım sayısı.

MS:depolama alanının alabileceği en fazla sarım sayısı.

Depo alanına yerleştirilebilecek en fazla sarım sayısı (MS) ise aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$MS = (3n - 3).DS \quad (2)$$

n: Kulvar sayısı.

DS: Arka arkaya yerleştirilebilecek sarım sayısı.

Arka arkaya yerleştirilebilecek sarım sayısı ise aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$DS = \frac{KD}{SD} \quad (3)$$

*KD: Kulvar derinliği.*

*SD: Sarımın derinliği.*

Şekil 2'deki yerleştirme dikkate alınacak olursa, A1-A2-A3 kulvarlarından oluşan depolama bölgesinin 3 kulvardan oluştuğunu ve kulvar derinliğinin 3 sarım almaya müsait olduğu varsayıldığında, (2) ve (3) eşitlikleri kullanılarak hesaplandığında, bu bölgeye en fazla 18 adet sarım yerleştirilebileceği görülmektedir. Mevcut durumda 14 sarım yerleştirilmiştir. Bu durumda bu depo bölgesi için kullanım oranı (1) eşitliği ile hesaplandığında  $KO=14/18= 0,78$  olmaktadır. Firma açısından kullanılan depolama alanının etkinliği önemli olduğu için depolama alanı kullanım oranının yüksek olması istenmektedir. Kullanım oranı hesaplama algoritması (KOHA), bu amaca yönelik olarak, piramit şeklinde yerleştirme yapılan durumlar için tasarlanmıştır. Algoritmanın adımlarını aşağıdaki gibi özetleyebiliriz:

**1.Adım:** Sevkiyatla gelecek malzeme listesindeki hammaddeleri, sarım adetlerine göre büyükten küçüğe doğru sırala.

**2.Adım:** En büyük sarım adedine sahip olan hammaddeyi seç.

**3.Adım:** Bu hammaddenin yerleştirilebileceği depo alan alternatiflerini belirle.

**4.Adım:** Alternatif alanlar için alan kullanım oranı hesapla.

**5.Adım:** İlgili hammaddeler yüklendiğinde alan kullanım oranı en büyük olacak bölgeye yerleştir.

**6.Adım:** 1 No lu adıma git, tüm malzemeler yerleştirilinceye kadar 1-5 adımları tekrarla.

Algoritmanın etkinliğini ölçmek üzere, gerçekleşmiş olan bir sevkiyat, simülasyon modeli kurularak tasarlanan yerleştirme algoritması ile yerleştirilmiş ve operatör inisiyatifine göre gerçekleşen mevcut yerleştirme durumu ile karşılaştırılmıştır.

**Çizelge 1.** KOHA ile mevcut yerleşimin simülasyon çalışması ile karşılaştırılması

Yerleştirme Yöntemi	Kullanım Oranı	Kulvar Sayısı
Mevcut yerleştirme	68%	272
KOHA	88%	243

Mevcut sistemde forklift operatörlerinin yaptıkları yerleşimin ortalama alan kullanım oranı %68 olarak hesaplanmıştır. Bu yerleşim, tasarlanan kullanım oranı algoritması ile gerçekleşseydi ortalama kullanım oranı %88 olacaktı. Mevcut durumda yerleştirme için toplam 272 kulvar kullanılmıştır. Tasarlanan algoritma aynı yerleştirme işlemini 243 kulvar ile gerçekleştirmektedir. Benzer simülasyon çalışmaları değişik yükleme örnekleri ile gerçekleştirilmiş, tasarlanan algoritmanın kullanım oranı açısından yaklaşık %30, gereken kulvar sayısı açısından ise yaklaşık % 10 iyileşme sağladığı gözlemlenmiştir.

Tasarlanan algoritma, firmanın kullandığı KKP yazılımının depo modülü ile bütünleşik çalışacak şekilde kodlanmıştır.

### 3.3.Tanımlama ve İzleme Teknolojileri ile İlgili Çalışmalar

HYS'nin işletilebilmesindeki en önemli nokta, sistemden anlık olarak hammadde konum ve miktar bilgisine erişmeyi etkin şekilde sağlayacak bir bilgi sisteminin kurulmasıdır. Bu bilgi sisteminin oluşturulmasında, malzemenin ve depo bölgelerinin bilgi sistemine tanıtılması ve adreslenmesi, depo bölgesi içinde ve depo bölgesiyle üretim birimleri arasında gerçekleşecek malzeme hareketlerinin KKP sistemine anlık olarak ve doğru şekilde aktarılması önem taşımaktadır. Tanımlama ve izleme teknolojisi olarak barkod ve RFID alternatifleri değerlendirilmiş, anlık veri yakalamaya elverişli olması nedeniyle RFID teknolojisi üzerinde karar kılınmıştır. Ancak RFID etiketlerin metal yoğun ortamlarda

etkin çalışmaması nedeniyle yalnız depo bölgesindeki kulvarların adreslenmesinde RFID teknolojisinden yararlanılmış, sevkiyatla gelen malzemenin sisteme ilk girişi sırasında, sisteme tanıtılması için, tedarikçi tarafından sağlanan barkod etiketlerinin kullanılmasına karar verilmiştir. RFID teknolojisi ise depo bölgelerindeki kulvarların adreslenmesi, yerleştirme/çekme işlemlerinin doğru yere/yerden yapılıp yapılmadığının kontrolü için kullanılmıştır. Bu amaçla RFID etiketler kulvarların giriş bölgelerinde, zeminin belli bir miktar altına döşenmiş, etiket üzerine kulvarın adresini temsil eden benzersiz bir tanımlama bilgisi yazılmıştır. Forkliftlerin altına RFID etiketleri algılayacak RFID okuyucu (Şekil 3, Şekil 5), forklift operatörünü yönlendirmek içinde forklift üzerine forklift terminali (Şekil 4) yerleştirilmiştir. Bu sistemde hammadde yerleştirme iş emirleri ve hammadde çekme iş emirleri forklift terminalleri üzerinden operatöre elektronik ortamda iletilmektedir. Sistem için gereken donanımları ise şu şekilde sıralayabiliriz:

- 1) **Kablosuz Barkod okuyucular:** Forklift operatörlerinin hammaddeler üzerindeki barkod etiketlerini okutarak hammaddeyi sisteme tanıtmaları için gereklidir.
- 2) **RFID etiketler:** Yerleştirmenin yapılacağı kulvarları adreslemek için kullanılmıştır. Kulvar girişlerinde zemine gömülü şekilde konumlandırılmıştır.
- 3) **RFID okuyucular-Anten:** Forkliftin altına yerleştirilmiştir. Zemine gömülü RFID etiketleri algılamak ve gerektiğinde üzerine bilgi yazmak üzere kullanılmaktadır.
- 4) **Forklift terminalleri:** KKP sistemi üzerindeki yerleştirme ve çekme iş emirlerinin forklift operatörüne iletilmesi, forklift operatörünün gerçekleştirdiği operasyonlarla ilişkili güncellemeleri KKP



Şekil 3. Forkliftin altına yerleştirilmiş RFID okuyucu



Şekil 4. Forklift terminali



Şekil 5. Zemine gömülü RFID etiketlerin okunması



sistemi üzerinde anlık yapabilmesi için kullanılan, forklift kabinine yerleştirilmiş, dokunmatik ekrana sahip terminallerdir.

- 5) **Kablosuz Ağ:** Forkliftlerin KKP sistemi üzerinden veri almasını ve veri ilemesini sağlamak üzere forkliftin çalışma alanını kapsayacak şekilde kablosuz ağ sistemi kurulmuştur.

### **3.4. HYS'nin KKP ile bütünleştirilmesine yönelik çalışmalar**

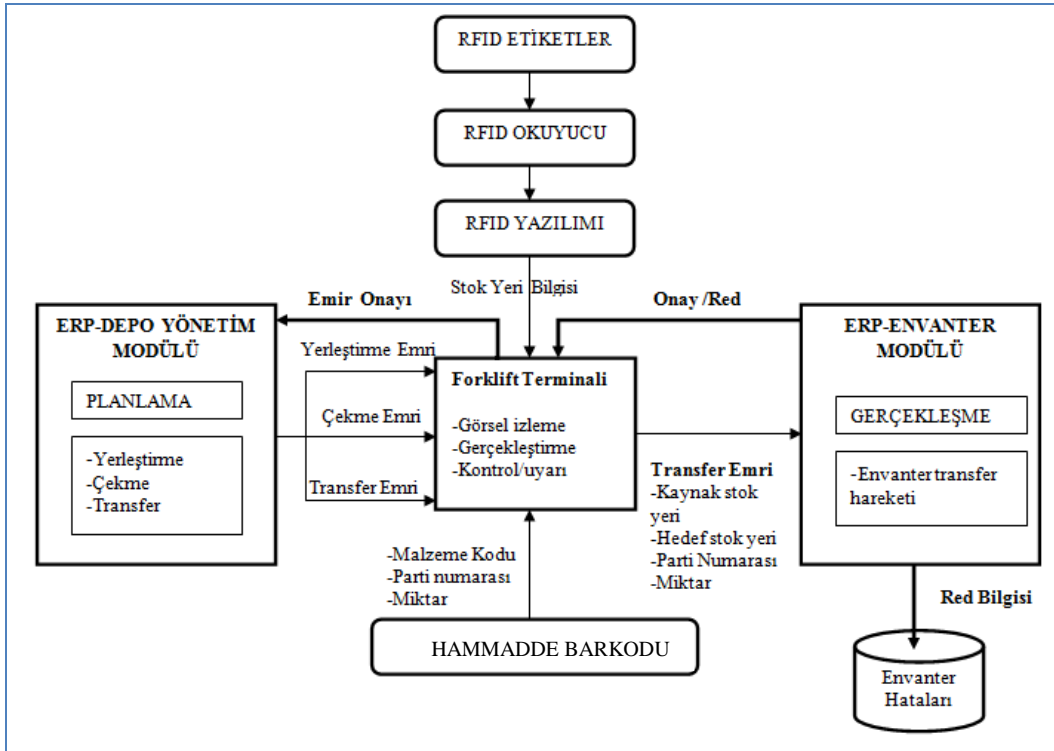
HYS, tüm alt sistemleriyle birlikte firmanın kullandığı KKP yazılımıyla bütünleşik olarak tasarlanmıştır. Barkod ve RFID okuyuculardan alınan bilgiler, anlık olarak KKP sistemi üzerine aktararak malzeme izlenebilirliği etkin şekilde sağlanmıştır. HYS'nin şirketin KKP sistemindeki Depo Yönetim ve Envanter Modülleri ile etkileşimi sözkonusudur. Bu modüllerle etkileşim Şekil 6'da gösterilmiştir. Buna göre HYS tarafından oluşturulan yerleştirme, çekme ve transfer iş emirleri forklift terminalleri ile operatöre iletilmekte, operatörün gerçekleştirdiği yerleştirme, transfer, çekme gibi işlemlerle ilgili stok yeri ve miktar

güncellemeleri yine forklift terminal uygulaması üzerinden kablosuz ağ ile KKP Envanter modülünde gerekli güncellemeler anlık olarak yapılabilmektedir. Böylece hammaddelerin konum ve miktar bilgilerini gerçek zamanlı olarak izlemek mümkün hale gelmiştir.

### **3.5. HYS'nin Kurulumu ve İşleyişi**

HYS nin genel işleyişine ilişkin akış diyagramı Şekil 7'de verilmiştir. Tasarlanan sistemin işleyiş aşamalarına genel olarak bakacak olursak:

- 1) Sevkiyatla gelecek olan hammaddeler önceden belli olduğu için sevkiyatın gerçekleşmesinden bir gün önceki son depo yerleşimi ve gelecek olan hammaddelerin cinsi ve miktarları dikkate alınarak depo yerleşim algoritması çalıştırılır ve gelecek hammaddelerin hangi kulvarlara yerleştirileceği belirlenir.
- 2) KKP sistemi üzerinde yerleştirme iş emirleri otomatik olarak açılır.



Şekil 6. HYS'nin KKP modülleri ile entegrasyonu.

- 3) Gelen hammaddenin yerleşeceği kulvar ve miktar bilgileri forklift terminali üzerindeki iş emri listesinden otomatik olarak ekrana gelir.
- 4) Hammaddeler firmaya ulaştığında forklift operatörü gelen sarımların üzerindeki barkod etiketlerini kablosuz barkod okuyucu ile okutur ve gelen hammaddeleri sisteme tanıtır.
- 5) Forklift operatörü hammaddeyi forklifte yükleyerek iş emrinde belirtilen kulvar bölgesine gelir.
- 6) Forklift, kulvar bölgesinin girişine geldiğinde forkliftin altına yerleştirilmiş RFID okuyucu, kulvarın bilgilerini RFID etiketten okur. Forkliftin doğru kulvarda olup olmadığının kontrolü sistem tarafından otomatik olarak yapılır.
- 7) Eğer forklift yanlış kulvarda ise operatöre bununla ilgili geri bildirim yapılır ve malzemeyi yanlış kulvara yüklemesine izin verilmez.
- 8) Eğer forklift doğru kulvarda ise terminal üzerindeki uygulamada onay ekranı

açılır. Operatör yerleştirmeyi yaptıktan sonra iş emrini onaylar.

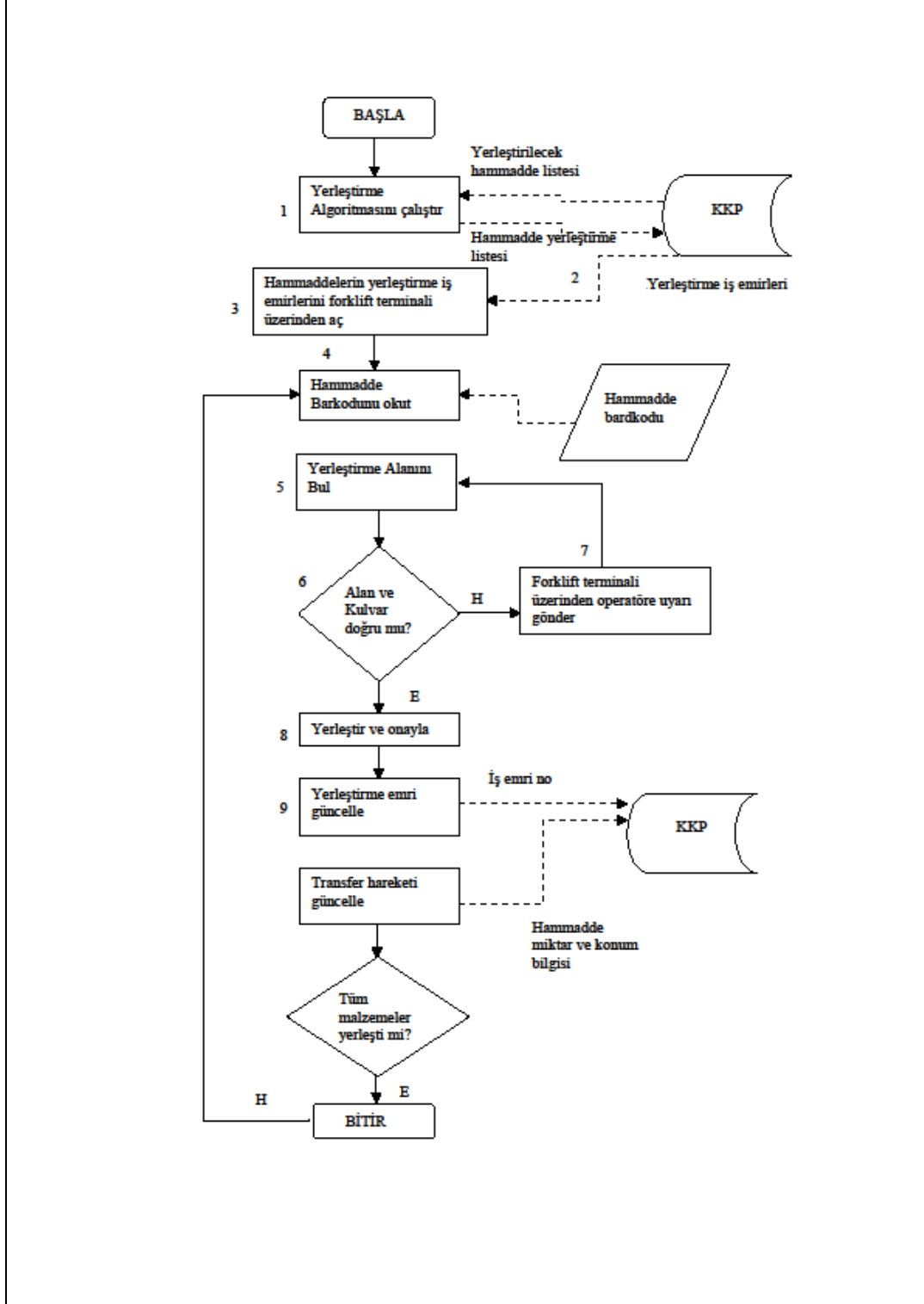
- 9) İş emri onaylanınca KKP sistemi üzerinde yerleştirme emirleri ve gerçekleşen transfer hareketleri güncellenir.
- 10) Operatör bir sonraki malzemeyi yüklemek için hammadde indirme bölgesine gider
- 11) Tüm hammaddeler yükleninceye kadar 4-10 aşamaları devam eder.

HYS sayesinde sistemdeki hammaddelerin depo bölgesine hem alanı etkin kullanacak hem de FIFO tüketimine izin verecek şekilde yerleşmesi mümkün hale gelmiştir. HYS bunun yanı sıra, zaman içerisinde hammadde tüketimi nedeniyle kullanım oranı düşen yükleme alanlarının etkinliğini artırmak için yeniden düzenleme fonksiyonuna da sahiptir. Yerleştirme algoritmaları çalıştırılarak kullanım sonucu boşalan kulvarlar, kullanım oranını artıracak şekilde yeniden düzenlenebilir.

HYS hammadde depo yerleştirme ve yeniden düzenleme fonksiyonlarının dışında, üretim

birimlerinin gereken hammaddeleri FIFO kuralına uygun şekilde çekmesini de sağlamaktadır. Üretim birimlerinin KKP sisteminde açtığı hammadde çekme iş

emirleri forklift terminali uygulaması ile forklift operatörlerine iletilmektedir. Forklift operatörü



Şekil 7. HYS akış diyagramı

iş emrini seçtiğinde o iş emri ile ilgili hammaddenin çekilecek miktarları ve bulunduğu kulvarlar operatörün önüne gelmekte ve operatörün tamamıyla yanlış bir

malzemeyi üretim birimine vermesinin ya da doğru malzemeyi FIFO'ya uygun olmayacak şekilde çekip üretim birimine ulaştırmasının önüne geçilmiştir.

#### 4. SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Çalışmada, bağlantı elemanları üreten Norm Cıvata A.Ş Firmasında, hammaddelerin FIFO'ya uygun tüketime olanak verecek ve depo alanını eskiye oranla daha etkin kullanacak şekilde yerleştirilmesini sağlayan bir HYS oluşturulmuştur. Böylelikle FIFO uygulanamaması nedeniyle ortaya çıkan kalite problemlerinin, ekstra yüzey işleme operasyonlarının önüne geçilmiştir. HYS ile hammaddelerin gerçek zamanlı olarak izlenmesi mümkün hale gelmiştir. Herhangi bir stok hareketi olduğunda hammaddenin konum ve miktar bilgileri KKP sistemi üzerinde otomatik olarak güncellenmektedir. Böylelikle stok hatalarının önüne geçilmiş, stok yönetimi açısından etkinlik artırılmıştır. Bunun yanı sıra depo alanını daha etkin şekilde kullanmaya imkan veren, sarım formundaki metal hammaddelerin piramit şeklinde yerleştirilmesini, depo alanını etkin şekilde kullanarak gerçekleştiren özgün bir yerleştirme algoritması geliştirilmiştir. Algoritmanın etkinliği simülasyon modelleri ile test edilmiş ve depo alanının eski duruma oranla daha etkin kullanıldığı görülmüştür.

Gelecek çalışmalar açısından değerlendirildiğinde tasarlanan yerleştirme algoritmasının optimuma ne oranda yaklaştığı da araştırılmalıdır. Bu konudaki çalışmalar devam etmektedir. Diğer taraftan RFID tabanlı malzeme izlenebilirliğinin firma içinde hammadde deposunun yanı sıra yüzey işlem, ısıtma işlem, soğuk şekillendirme,

paketleme, sevkiyat gibi birimlere yaygınlaştırma çalışmaları devam etmektedir.

#### Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından “TÜBİTAK Sanayi Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı” kapsamında desteklenmiştir.

#### Kaynaklar

[1] Qian, J. P., Yang, X., Wu, X., Zhao L., Fan, B., Xing, B., “A traceability system incorporating 2D barcode and RFID technology for wheat flour mills”, *Computers and Electronics in Agriculture*, 89, 76–85, 2012.

[2] Lee, C.K.M., Ho W., Ho, G.T.S, Lau, H.C.W., “Design and development of logistics workflow systems for demand management with RFID”, *Expert Systems with Applications*, 38, 5428–5437, 2011.

[3] Zhu, X., Mukhopadhyay S., Kurata, H., “A review of RFID technology and its managerial applications in different industries”, *Journal of Engineering and Technology Management*, 29, 152-167, 2012.

[4] Dai, Q., Zhong, R., Huang, G., Qu, T., Zhang, T., Luo, T., “Radio Frequency identification-enabled real time manufacturing execution system: a case study in an automotive part manufacturer”, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 25(1), 51-65, 2012.

[5] Ngai, E.W.T., Suk, F.F.C., Lo, S.Y.Y., “Development of an RFID-based sushi management system: the case of a conveyor-belt sushi restaurant”, *International Journal of Production Economics*, 112 (2), 630–645, 2008b.

[6] Zhu, Z., Tan, J., Ren, H., Ni, W., Guan, Q., “RFID application in manufacturing: A case study on a pilot RFID Project in household appliance production”, *Int. Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 25(1), 3-10, 2012.

[7] Qu, T., Yang, H.D., Huang, G., Zhang, Y.F., Luo, H., Qin W., “A case of implementing RFID based real-time shop floor material management for household electrical appliance manufacturers”, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23, 2343-2356, 2012.

[8] Xu, Z., Ming, X.G., Zhou, J., Song, W., He, L., Li, M., “Management optimization based on dynamic SKU for RFID-enabled warehouse management in the steel supply chain”, *Int.*

Journal of Production Research, 51(10), 2981-2996, 2013.

[9] Wang, M.L., Qu, T., Zhong, R.Y., Dai, Q.Y., Zhang, X.W., He, J.B., “A radio frequency identification-enabled real-time manufacturing execution system for one-of-a-kind production manufacturing: a case study in mould industry”, Int. Journal of Computer Integrated Manufacturing., 25(1), 20-34, 2012.

[10] Wei, J., Leung C.H., “A simulation modeling and analysis for RFID-enabled mixed-product loading strategy for outbound logistics: A case study”, Computers & Industrial Engineering, 61, 209-215, 2011.

[11] Ngai, E.W.T., To, C., Moon, K.K.L., Chan, L.K., Yeung, P.K.W., Lee, M.C.M., “RFID systems implementation: a comprehensive framework and a case study”, Int. Journal of Production Research, 48(9), 2583-2612, 2010.

[12] Amini, M., Otondo, R.F., Janz, B.D., Pitts, M.G., “Simulation modeling and analysis: a collateral application and exposition of RFID technology”, Production and Operations Management 16 (5), 586–598, 2007.

[13] Tzeng, S.F., Chen, W.H., Pai, F.Y., “Evaluating the business value of RFID: evidence from five case studies”, International Journal of Production Economics, 112 (2), 601–613, 2008.

[14] Sarac, A., Absi, N., Peres, S., “A literature review on the impact of RFID technologies on supply chain management”, Int. Journal of Production economics, 128, 77-95, 2010.

[15] Xie, X., Zheng, Y., Li, Y., “Multi-crane scheduling in steel coil warehouse”, Expert Systems with Applications, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2013.10.022>

[16] Ballestin, F., Perez, A., Lino, P., Quintanilla, S., Valls, V., “Static and dynamic policies with RFID for the scheduling of retrieval and storage warehouse operations”, Computers & Industrial Engineering, 66, 696-709, 2013.

[17] Koster, R., Le-Duc, T., Roodbergen, K., “Design and control of warehouse order picking: A literature review”, European Journal of Operational Research, 182, 482-501, 2007.

**Geliş Tarihi:27.09.2013**

**Kabul Tarihi:25.11.2013**

